

无线传感器网络能量改进路由算法研究

肖欣招 魏峰

(上海理工大学信息化办公室 上海 200093)

摘要: 基于能量多路径路由协议和 LEACH 路由协议的大多数成簇算法是概率选择,在一定程度上会加速局域内节点能量过早消耗完,影响网络的性能。结合能量感知多路径和 LEACH 路由算法,提出一种能量高效的改进路由算法,从节点能量消耗角度出发,根据节点与汇聚节点之间的距离、网络中所有存活的节点到汇聚节点的平均距离以及该节点当前剩余能量值来确定簇头选择的能量阈值,并依据该值进行路由选择。仿真实验结果表明,该算法能够提高网络整体性能,有效延长网络节点的生命周期。

关键词: 无线传感器网络; LEACH 路由; 簇头; 能量阈值;

中图分类号: TN918 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5030

Energy efficient routing protocol for wireless sensor network

Xiao Xinzha Wei Feng

(Office of Information of University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: LEACH routing protocol for wireless sensor networks and a number of its improvements are proposed. Most of them use random selection of cluster-head node election. It is found that node's energy consumption increases with its more random selection. Then performance of the network is affected because node's energy consumed quickly. This paper proposed an improved routing algorithm that determines threshold of cluster-head node according to the node's present remaining energy, distance to all surviving nodes and average distance between the node and convergence node. Routing is done by the threshold. Simulation shows that network performance and life cycle could be improve effectively.

Keywords: wireless sensor networks; LEACH routing; cluster-head; energy threshold;

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是由部署在监测区域内的大量微型传感器节点组成,通过无线通信方式形成的一个单跳、多跳的自组织的网络系统,能协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中温湿度或者压力等信息,将此信息发送到上层监测平台^[1-8]。无线传感器网络通常由大量密集的传感器节点组成,每个节点都承担着信息的采集或转发的任务,而节点的计算能力、带宽、存储和能量往往都比较有限,传统的无线路由协议首先强调服务质量和高效带宽,然后考虑节约能量的并不适合无线传感器网络,因而设计能够有效节约并且能高效利用能量,延长网络生命周期的路由协议成为研究无线传感器网络所面临的关键问题。通常,从网络拓扑结构来看,WSN路由协议常见的有能量多路径路由和 LEACH 路由等算法^[9-13]。这些算法都以能量消耗最小为出发点,但都有局限性:能量多

路径路由算法基于最小跳数,路由构建迅速,但是数据传输路径单一,传输路径上的节点长时间工作容易能量提前耗尽,网络生命周期缩短;LEACH 路由算法的簇头选举是随机产生,没有考虑节点剩余能量和位置,网络生命周期也会由于簇头节点选择不合适而受影响^[14-15]。

本文分析了能量路由和 LEACH 路由算法的特点,结合两者的特点,提出改进的能量高效 WSN 路由算法:从节点能量消耗角度出发,根据节点与汇聚节点之间的距离,网络中所有存活的节点到汇聚节点的平均距离以及该节点当前剩余能量值来确定簇头选择的能量阈值,并依据该值进行路由选择。仿真实验结果表明,该算法能够提高网络整体性能,有效延长网络节点的生命周期。

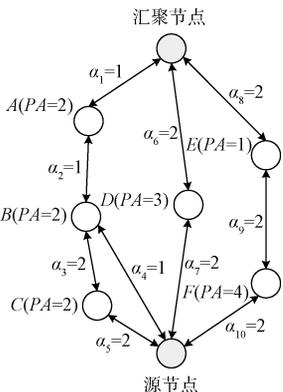
2 无线路由算法

2.1 能量多路径路由算法

能量多路径路由算法是最早提出的基于能量感知的网

络路由机制之一^[16-17]。它根据节点当前的剩余可用能量 (power available, PA) 或传输路径上的能量需求, 选择数据的转发路径, 节点的可用能量就是节点的当前剩余能量。该协议从数据传输中的能量消耗角度出发, 讨论最优网络能量消耗路径以及最长网络发等问题, 其最终的目的就是实现能量的高效利用。

图 1 是能量路由算法示意图, 从源节点到汇聚节点的可用路由链路有: 链路 1: 源节点-C-B-A-汇聚节点, 该链路上的 PA 值为 6, 传输数据所需要消耗的能量为 6; 链路 2: 源节点-B-A-汇聚节点, 该链路上的 PA 值为 4, 传输数据所需要消耗的能量为 3; 链路 3: 源节点-D-汇聚节点, 该链路上的 PA 值为 3, 传输数据所需要消耗的能量为 4; 链路 4: 源节点-F-E-汇聚节点, 该链路上的 PA 值为 5, 传输数据所需要消耗的能量为 6。从能耗上看: 链路 1 包含链路 2, 前者的 PA 值较后者大, 但不是高效的路由路径; 从整条链路所消耗的能量大小来看, 链路 2 消耗能量之和最小, 该链路在能量消耗方面具有优势; 从节点路由跳数的数量来说, 链路 3 仅仅需要 2 跳即可从源节点到汇聚节点, 该路径是最少跳数路由。



注: A, B, C—传感器节点; PA—当前剩余能量; α_i—通过路径所需能量

图 1 能量路由算法示意图

对于最少跳数路由如从源节点经节点到汇聚节点这条链路来说, 由于跳数较少, 所以由它构建的路由过程迅速, 数据传输过程中能量消耗也相对较小, 然而它的缺陷就是数据在传输的过程中长时间走单一链路, 容易使该链路上节点的能量提前耗尽, 影响网络的连通性, 缩短了整个网络的生命周期。

2.2 LEACH 路由算法

在 LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy) 是一种低功耗自适应的分层拓扑协议^[18], 它的执行过程是周期性的, 其主要思想是以轮 (Round) 循环的方式建立簇和稳定数据通信, 然后在簇的建立阶段, 相邻节点动态的形成簇, 随机选择网络簇头节点, 然后在数据通信阶段, 簇内节点将所要发送的数据传输给汇聚节点, 汇聚节点对传输的数据进行融合处理, 最终将整个网络的能量负载平均分

配到每个簇内节点上, 其采用的层次型拓扑结构如图 2 所示。

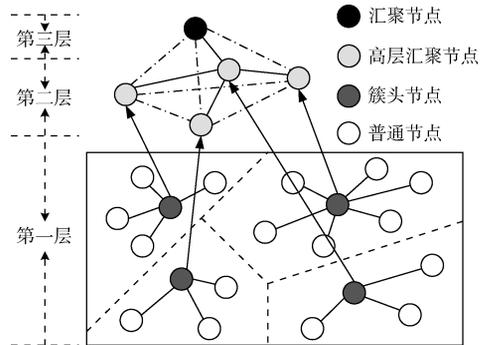


图 2 LEACH 算法分层结构

LEACH 算法的簇形成包括簇头节点的选择或称为簇头节点的准备 (setup phase) 节点和簇的形成或称为就绪阶段 (ready phase) 两部分, 两阶段所持续的时间总和称为一轮。在簇建立最初阶段, 每个节点都要觉得是否充当本轮簇头节点, 这主要取决于整体网络中簇头节点占所有节点数的百分比 (初始化时设置) 和这个节点在过去的操作中充当过的簇头节点的次数。簇头选举过程如下: 节点产生 1 个 0~1 的随机数, 如果该随机数值小于某一个阈值 $T(n)$, 那么该节点就成为当前这个回合的簇头节点。阈值 $T(n)$ 定义如式 (1) 所示:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \cdot \lceil r \text{ mod } (1/P) \rceil}, & n \in G \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

式中: P 表示是簇头节点的节点占节点总数的百分比; r 是当前选举的轮数; G 是在过去 $1/P$ 轮中尚未充当簇头节点的其他节点的集合; 符号 mod 是求模/取余运算符, $r \text{ mod } (1/P)$ 表示在此轮循环中当选过簇头节点的个数。使用这个阈值, 每个节点会在 $1/P$ 次操作内担当 1 次簇头节点。

该算法相对于平面路由协议来说具有很大的优势, 但存在一些问题: 选举簇头节点是基于一定的随机概率机制而不按照当前该节点实际所剩能量的多少来实际取舍; 簇网络之间采集到的信息会存在大量的冗余; 选举簇头节点未考虑节点自身在传感器网络中所处的位置以及所选举出来的簇头节点同汇聚节点之间的实际距离。

3 改进路由算法

由于 LEACH 算法的簇头选举是基于随机产生机制的, 会带来局限性^[19]。本改进算法首先会综合考虑传感器网络中节点当前所剩能量 PA 值 E_{current} , 如果该值越大, 直观来说, 其被选举为簇头节点的概率也就越大; 同样, 剩余能量 PA 值 E_{current} 较小, 其被选举为簇头的概率也就较小, 或者不可能。另外, 考虑到簇头节点过多, 会加快充当

簇头节点的能量的消耗,而当簇头节点数量相对较少的时候,会导致普通节点的能量消耗加快,且不易于管理;同时,若随着网络能量的消耗,簇头节点会出现随机分布的情况,本文主要从控制簇头节点数量和节点位置两个方面来对LEACH路由算法进行改进。

假设所有节点分布在1个 $L \times L$ 的区域内,且每个对于每个节点都附加一时间参数 t ,如果在 t 时间之内的循环选举簇头节点的过程中,某个节点当选为簇头节点,那么它就不再竞争簇头节点。反之,它必须综合该节点当前所接收到的广播消息和最优簇头节点数进行判断,如果总簇头节点数小于 n (n 为该轮选举最优簇头数),那么它会继续竞争簇头节点;否则不再竞争为簇头。文献[10]对最优簇头节点进行了研究,将簇头节点的数量控制在5%左右,网络耗能最低。这样就克服了原有算法的随机性,从而提高了理论依据。

其次,考虑到节点和汇聚节点之间的距离问题 $D_{distance}$,实际中,该参数的大小也会直接影响到簇头的选举。因为如果被选举为簇头的节点此时距离汇聚节点的距离相对来说较大,则会在无形中加大其与汇聚节点通行的能量消耗,而如果一直使用这种机制来选举簇头节点,会大大缩短整个网络的生命周期。只有被想为簇头节点的节点距离汇聚节点较近,才更易于两者通信,进而减少能量的消耗,所以需要控制簇头节点的位置。如果某一节点被选举成为簇头节点,那么在工作完本轮选举时间之后,它就不会再参与下一轮的簇头选举,如此就避免了该节点长时间担任簇头交换节点而过早地出现“网络空洞”现象。簇头节点负责路由查询和树的生成,它周期性的对邻居节点的能量进行探测,式(4)是改进的簇头选择能量阈值公式:

$$T(n) = \begin{cases} 0.5k \cdot E_{current} / E_{total} \\ + (0.5 \sim 0.6) \cdot D_{average}^2 / (D_{max}^2 + D_{distance}^2), n \in G \\ 0, others \end{cases} \quad (4)$$

式中: $E_{current}$ 表示在本轮能量检测中,某节点所剩能量 PA 值,它的值在该能量阈值公式中占有重要地位; E_{total} 表示当前网络中所有存活着的节点的能量总和; $D_{distance}$ 表示该节点与汇聚节点之间的距离; $D_{average}$ 表示网络中所有存活着的节点距离汇聚节点的平均距离值;同样, D_{max} 表示该值的最大范围距离值;此外,还有 k 的值,它是一个调配参数,通过它来调节网络的性能,是一个经验值,需要经过多次实验来获得,本文中采用其值为7。此外,当根据能量阈值所判断出来的当前存活节点的数目少于该局域网络内总节点数量的50%时,簇头节点通过能量最小消耗路由算法建立路由转发表;当簇头节点的数目大于50%时,簇头节点通过最小跳数路由算法建立路由转发表。而普通节点的数据传输则是通过对其周围邻居节点的周期性探测并记录能量情况,根据骨干路由树上最小剩余能量 PA 和普通节

点到达这些节点的能量消耗大小计算并选择下一跳节点的概率。

4 仿真与性能测试

综合考虑无线传感器网络的特点,以及仿真软件针对无线传感器网络所提供的平台、工具、性能等因素,将NS2仿真实验平台安装在Fedora 10 Linux操作系统下^[6],NS2采用ns-allinone-2.35.tar.gz安装包来对无线传感器网络路由算法进行分析验证。仿真流程如图4所示。

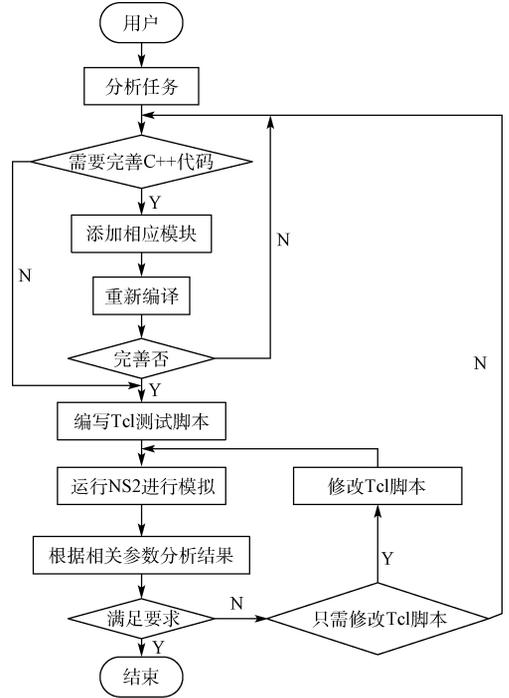


图3 NS2仿真流程

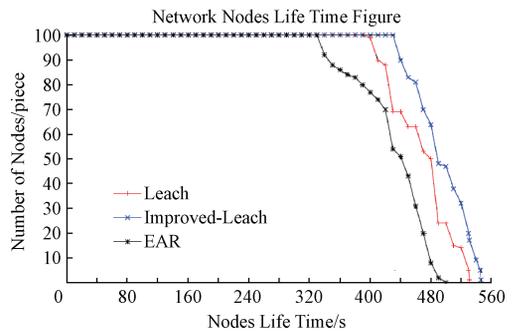


图4 网络节点生存时间对比

在NS2仿真实验中,节点的建立、网络拓扑结构的设置以及相关参数的设定等都是在OTcl脚本中进行配置的。为了便于对比原算法与改进后算法的性能,仿真环境配置为一样的参数,在 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的矩形区域内随机部署了100个无线传感器节点,且每个传感器节点的初始能量均设为2 J,汇聚节点(0号)位于平面坐标(60,55)处,最

佳簇头节点数量设置为总数的 5%，选举簇头节点一轮所需时间为 20 s，时间片大小设为 0.03 s，每个传感器节点每轮平均发送 35 个数据报文，分别按 Leach 算法，能量多路径(EAR)算法和本改进(improved-Leach)算法仿真结果如图 5、图 6 所示，从图中可以看出，改进算法 improved-Leach 较前两种算法在网络节点的存活。

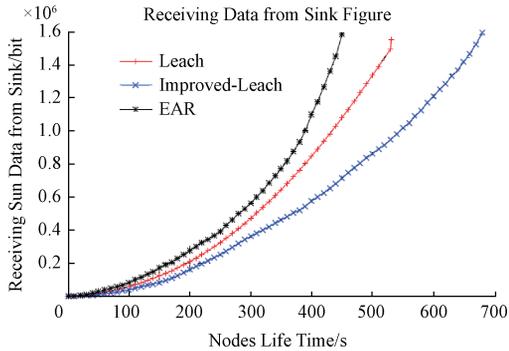


图 5 网络数据通信量对比

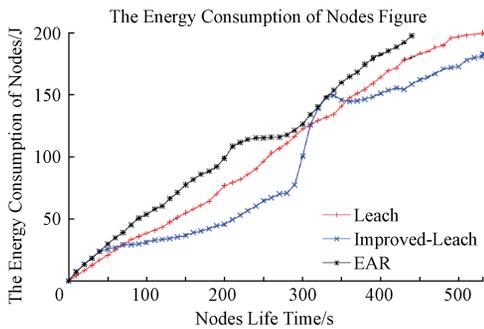


图 6 网络总耗能对比

时间方面有了相对较大的改进，改进网络的第一个死亡节点较 LEACH 算法推迟了大约 40 s 左右而比能量多路径路由算法则推迟了将近 110 s。此外，基于改进算法的网络节点整体生命周期也提升了不少，且网络节点并没有发生大规模死亡的情况，死亡率曲线相对较平滑，这说明改进算法较原有算法更具有优势。

从图 5 可以看出，对于某一时刻采用 3 种不同算法的簇头节点来说，采用改进算法的节点可以预先对数据进行有效地融合处理，其与汇聚节点的实际通信量就会减少，同时也就降低了不必要的能量消耗，达到节省的目的。从理论角度来看，由于改进算法采用了基于 LEACH 算法且优化了簇头节点选择机制而不是采用原有的随机选取方法，这样可以让簇内剩余能量相对较大的节点有更多担当簇头节点的机会，从而使传感器网络的生命周期得到了延长。

从图 6 中可以看出，在某一确定时刻，采用改进算法的传感器网络节点所消耗的能量相对较少，这是该网络能够更加合理地选择簇头节点的结果，因此可以更加有效地均衡网络的总能量，使网络的生命得以延续。但是在 310 s

至 360 s 范围时，采用改进算法的传感器网络所消耗的能量突然增大，高于采用 LEACH 路由算法和能量多路径路由的网络，这可能与节点的分布不均匀或者节点所处的环境有关。在某些情况下，网络运行一段时间之后，由于节点的分布不均，有些区域内的节点可能会因为能耗过度消耗而死亡，导致节点数量减少甚至只剩一个，而这些节点还要将实际采集到的数据传输到簇头节点或者汇聚节点，这样势必会使其能量消耗过高过快。其次，如果此节点距离汇聚节点距离较远，还会由于要发起路由寻找而出现额外的能量消耗，这也是能耗突增的一个原因。

5 结 论

本文通过对能量多路径路由算法和 LEACH 算法的分析，从节点能量消耗角度，根据该节点与汇聚节点之间的距离，网络中所有存活的节点距离汇聚节点的平均距离以及该节点当前剩余能量值来确定簇头选择的能量阈值，并依据该值进行路由选择，并进行了仿真实验。实验结果表明该算法的网络无论是在节点的能耗还是网络的生命周期都有了更好的表现。

参 考 文 献

- [1] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 1-273.
- [2] ROCHA A R, DELICATO F C, PIRMEZ L, et al. A fully-decentralized semantic mechanism for autonomous wireless sensor nodes[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016, 61(2): 142-160.
- [3] RASHID B, REHMANI M H. Applications of wireless sensor networks for urban areas[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016, 60(1):192-219.
- [4] LINX H, KWOKY K, WANG H, et al. A game theoretic approach to balancing energy consumption in heterogeneous wireless sensor networks[J]. Wireless Communications Mobile Computing, 2015, 15(1): 170-91.
- [5] MAJADI N. A routing protocol for prolonging lifetime of wireless sensor networks [J]. International Journal of Engineering Research and Applications, 2012, 2(4):1649-1652.
- [6] 黄庆卿, 汤宝平, 邓蕾, 等. 无线传感器网络子带能量自适应数据压缩方法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(9):1998-2003.
- [7] 张翠. 无线传感网协议测试平台研究[J]. 国外电子测量技术, 2015, 34(6): 54-57.
- [8] 刘春, 金哲媛. 环境监测中无线传感器网络路由算法的改进[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(2):

- 146-151.
- [9] 陈晓娟,王卓,吴洁.一种基于 LEACH 的改进 WSN 路由算法[J].传感技术学报,2013,26(1):116-121.
- [10] GNANAMBIGAI J, N. RENGARAJA, ANBUKKARASI K. Leach and its descendant protocols; a survey [J]. International Journal of Communication and Computer Technologies, 2012, 3(2):15-21.
- [11] POONGUZHALI P K. Energy efficient realization of clustering patch routing protocol in wireless sensors network [C]. 2012 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI2012), Coimbatore, INDIA, 10-12 Jan., 2012: 1-6.
- [12] MINHAS A A, FAZL-E-HADI, SATTAR D, et al. Energy efficient multicast routing protocols for wireless sensor networks [C]. World Congress Sustainable Technologies (WCST), 7-10 Nov., 2011: 178-181.
- [13] ASLAM M, JAVAID N, RAHIM A. Survey of extended LEACH-based clustering routing protocols for wireless sensor networks [C]. IEEE 14th International Conference on High Performance Computing and Communications, 25-27 Jun., 2012: 1232-1238.
- [14] ZHAO F, SHIN J, REICH J. Information-driven dynamic sensor collaboration [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2002, 19(2):61-72.
- [15] 田丰民. 无线传感器网络动态功率管理方法[J]. 传感器技术, 2005,24(11):33-35.
- [16] 黄化吉,冯穗力,秦丽姣等编著. NS 网络模拟和协议仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2010.
- [17] 柯志亨,程荣祥,邓德隽. NS2 仿真实验—多媒体和无线网络通信[M]. 北京:电子工业出版社,2009.
- [18] HANEEF M, DENG ZH L. Comparative analysis of classical routing protocol leach and its updated variants that improved network life time by addressing shortcomings in wireless sensor network [C]. Seventh International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks, 16-18 Dec., 2011: 361-363.
- [19] 柯志亨,程荣祥,邓德隽. NS2 仿真实验—多媒体和无线网络通信[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

作者简介

肖欣招,1979 年出生,工程师,主要研究方向为计算机网络和通信。

E-mail: apple@usst.edu.cn

魏峰,1979 年出生,硕士研究生,主要研究方向为工业网络传感器网络和通信。

E-mail: 88185546@qq.com